

振動環境下で取り込まれた多数枚のスペックル干渉像からの位相抽出

著者	安達 正明, 佐々木 裕紀
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集 = JSPE Conference
巻	2013A
号	2013 JSPE Autumn Conference
ページ	387-388
発行年	2013-01-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/45470

doi: 10.11522/pscjspe.2013A.0.387.0

振動環境下で取り込まれた多数枚のスペックル干渉像からの位相抽出

金沢大学 安達正明, 佐々木裕紀

Phase extraction from many specklegrams captured under vertical vibration
Kanazawa University, Institute of Science and Engineering, Masaaki Adachi and Yuki Sasaki

We propose phase-extraction method of speckle interferograms, specklegrams, from many specklegrams captured with random phase changes, which are supposed to come from environmental vertical-vibration. Amounts of the phase changes of captured specklegrams are calculated through Max & Min light intensities searchings at two pixels and normalizations of their intensity changes. The calculated phase changes are then used to extract phase of specklegrams with Least-Squares Algorithms, least-squares fit to the measured intensities to a sinusoidal function.

Keyword: specklegram, phase extraction, vibration environment

I. 研究目的

電子基板上に搭載された部品の水平位置をカメラで自動検査する技術は広く実用されている。そして近年は、水平位置だけでなく部品の高さ位置の自動検査技術も求められている。高さの計測には光切断法やモアレ法など実用性の高い方法がある。しかし、基盤に対し斜めから光を照射するもしくは撮影するこれらの手法は部品の影を伴いやすく、垂直方向から光を照射し計測する手法が理想的と考えられる。

そこで我々は垂直方向から光を照らし撮影する高さ計測手法として、低価格化が進む波長可変レーザを用いる方法を取り上げ、ここではその手法を生産現場で用いる場合に避けて通れない、振動環境下でも使える手法に展開するための研究を行っている。

本研究では、安定した波長の下で振動環境下で取り込まれた多数枚のスペックルグラムからその最初の1枚の位相を抽出し、波長を変えながらこの位相抽出を繰り返し、それら抽出位相の差の分布を調べた結果に関して報告する。

II. 計測原理

波長変更を用いた反射面までの距離計測では、線形波長走査時の干渉光強度変化に関し、その周波数スペクトルを抽出する方法¹⁾や、その正のスペクトル成分のみの逆フーリエ変換後の複素偏角情報をアンラップする方法²⁾などが知られている。しかし、振動環境下で距離計測を試みる場合は、計測中の振動による光路差の微小変化が結果として大きな光強度変動を与え、それらが影響しない方法を追求する必要がある。そのような手法を実現する方法として、波長走査方向が正負逆の2個のVCSEL素子を使う方法も既に提案されている³⁾。しかし、その光学系は複雑であり計測に広い視野を持つカメラを用いる研究はまだ見あたらないようである。

そこで我々は波長変更に伴う干渉位相の変化量が光路差に比例する特性を用い、被測定面内に高さの基準点を設け、波長を変える時の視野中の各測定点と基準点での位相変化量の違いを用いる光路差評価を用いることにした。

ここでのスペックル位相の抽出では、安定した波長で振動によって干渉位相がランダムに変化している中でスペックル干渉像を多数枚取り込む。取り込んだ干渉像から干渉光強度変化のモジュレーションが比較的大きく位相が約 $\pi/2$ 異なる画素A、Bの2画素を探す。それら2点でそれぞれの最小光強度と最大光強度の探索を行い、光強度変化の規格化を行い、規格化した変化の和と差を求めさらに2回目の規格化を行って、取り込んだ多数枚の画像に対して位相変化量(ランダムなシフト量)を抽出する^{4,5)}。次に抽出した位相変化量を利用して、位相に対する光強度の正弦

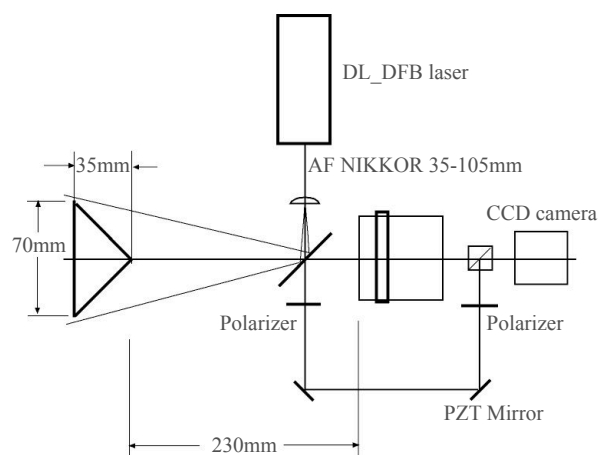


図1 実験に用いたスペックル干渉計。対物レンズは1眼レフ用ズームカメラレンズ、Laserは678～680nmで波長可変、測定対象は三角柱を白色塗装した粗面。干渉像取得中の振動はPCで発生させた乱数をPZTにアナログ出力して発生させる。

波的变化への最小二乗近似⁶⁾を使って、最初に取り込んだ1枚の干渉位相を全画素で抽出する。

III. 実験装置

装置の光学レイアウトを図1に示す。参照波面は直接カメラ受光面に入れている。波長可変レーザはTOPTICAのDL_DFBレーザであり、LD素子の温度による波長制御によって778nmから780nmまでモードホップフリーで波長可変でき最大出力は約70mWである。対物レンズは検査対象の視野を確保するために1眼レフカメラ用のAFズームニッコール35-105である。測定対象は光路差が場所によってはほぼ一様に変化する木製の三角柱を白色塗装したものを対物レンズ前方に23cm離して置いた。カメラはピクセルサイズが $6 \times 6 \mu\text{m}$ で12bitA/D分解能を有する浜松ホトニクス製のC7300である。最新のカメラと比べると取込速度と780nmに対する感度特性は良くないが、比較的小さな画素サイズで画像品質に優れている。振動下での疑似計測状況を作り出すために、参照光路にPZT駆動ミラーを入れて、PCからの一様乱数出力でその光路長を最大 $4 \mu\text{m}$ 変動できるようにしている。

IV. 実験結果

レーザ素子の温度を9度～18度まで10段階ステップ的に変える。各ステップでは温度変更後6秒置いて波長が安定したことを画像で確認した後、ピエゾ素子をランダムに動かしながらスペックル干渉像を80枚撮影する。10種の各温度でこのように画像を撮影した後、2回規格化法で位相シフト量を算出し、各温度域で

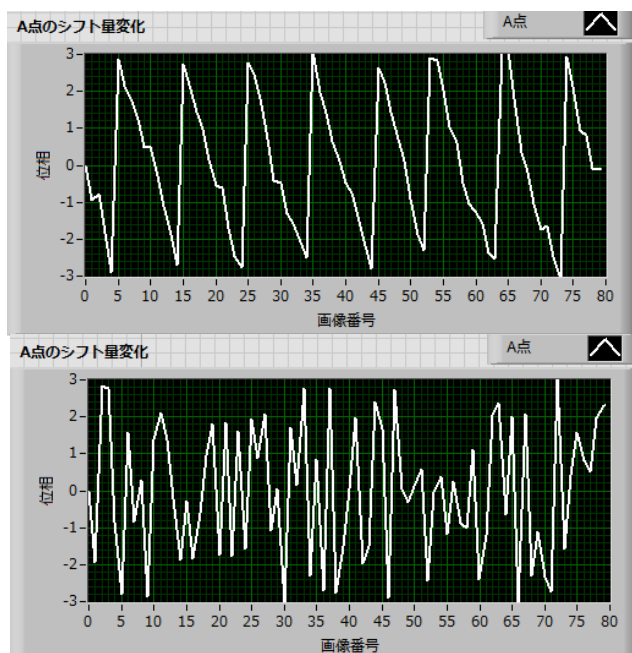


図2 2点の光強度の最大値&最小値探索と2回規格化を用いて位相シフト量を抽出した結果. 上は線形的ピエゾ駆動のスペックルグラムから得られた結果, 下はランダムなピエゾ駆動のスペックルグラムから得られた結果. 共に80枚のスペックルグラムの取込順を横軸とした

最初に取り込んだ画像の位相を抽出する. ランダム性と抽出精度を見るために, ピエゾを線形的に動かしながら取り込んだ画像から算出したシフト量変化と, ランダムに動かしながら取り込んだ画像から算出したシフト量変化を図2に示す. このシフト量変化は原理的には任意の2点のみの画素の強度変化から抽出できる. しかしスペックル等が災いし精度は決して良くない. そこで画面中に2点の組を100種ほど設け, 得られた100種でのシフト量変化を平均化して精度の高い変化を得ている. このようなシフト変化から総ての波長での位相を抽出し, 温度変化に伴う位相の変化分に関して基準点をゼロとした差を計算した. 図3に三角柱に対して測定した位相変化マップを示す. 雑音低減のために, 3×3 画素の範囲でモジュレーションを動径方向, 位相変化量を偏角とする複素平面で測定値を平均している. 位相変化マップ左上の(Ti-Tj)のi,jは各温度を示す指数である. 小さい数字が低い温度を示す. これらマップは温度変更9種の総てで得られた. ここで, 計算に使用するスペックル干渉像を各温度40枚にすると, マップ上に雑音が強めに出てきた. この手法では高精度化のためにはかなり多めの画像を必要とする. しかし, 最近の高速カメラの低価格化は問題を容易に解決すると考える.

V. まとめ

ランダム量の位相シフト画像多数枚から2回規格化法で位相変化量を計算し, 位相変化に対する光強度変化の最小二乗近似を用いてスペックル位相を抽出した. 抽出精度評価のために波長変更に伴う位相変化量の大小を, カメラの視野でのマップとして表示した. なお, 本研究は科学研究費補助金(24560289)による成果である.

参考文献

- 1). S.Kuwamura, I.Yamaguchi, Wavelength scanning profilometry for real-time surface shape measurement, Appl.Opt., **36**,4473 (1997)
- 2). M.Takeda,H.Yamamoto,Fourier-transform speckle profilometry: three-dimensional shape measurement of diffuse objects with large

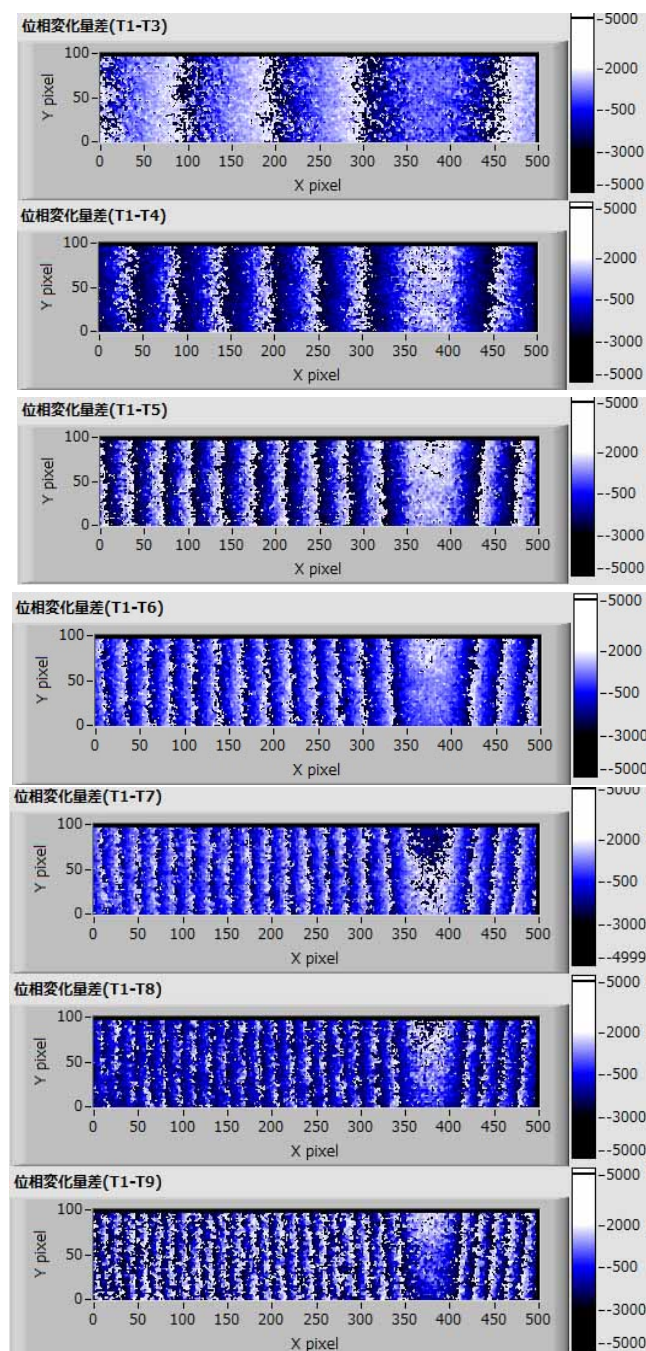


図3 三角柱に対して測定した位相変化マップ. 位相変化マップ左上の位相変化量差(Ti-Tj)のi,jは9度~18度の各温度を示す指数で, 小さい数字が低い温度を示す. マップの明るさは $-\pi$ から π の変化を示し, 右横のバーは $-\pi$ を-5000, π を5000としていることを示す. 総ての温度(波長)域で精度良く位相が計測でき, 温度による抽出精度に違いが少ないことを示している.

height steps and /or spatially isolated surfaces, Appl.Opt.,**33**,7829 (1994)

- 3). 覚間, 片瀬, 一対の面発光レーザによる高精度周波数走査干渉測長法, 2009年度精密工学会春季大会学術講演会論文集805p
- 4). 安達, 藤本, 平野, 走査型白色干渉顕微鏡に内蔵可能な光路差変化量のリアルタイム測定法, 精密工学会誌, **74**, 1215 (2008)
- 5). 安達, 平野, 河村, 岩尾:振動環境下でも利用できる垂直走査型干渉応用形状計測技術, 精密工学会誌, **75**, 1299 (2009).
- 6). G.Lai, T.Yatagai, Generalized phase-shifting interferometry, J.Opt.Soc.Am.A, **8**, 822 (1991).